昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, December 2007, 50(12):1300 – 1303 ISSN 0454-6296

始红蝽越冬聚集行为对其能量代谢的影响

苏延乐[1,2],吕昭智[1,*],宋　菁[1,3],苗　伟[1,3]

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所,乌鲁木齐　830011;2. 中国科学院研究生院,北京　100049;
3. 新疆农业大学农学院,乌鲁木齐　830052)

摘要:聚集行为是动物适应不良环境的一种生态对策。始红蝽 *Pyrrhocoris apterus* 在成虫滞育越冬期间具有显著的聚集行为。采用 LI-6400 型光合仪测定了 5 种聚集度(分别用 1 头、5 头、10 头、20 头和 50 头的群体大小表示)下始红蝽的呼吸量,通过呼吸量计算得到各聚集度始红蝽的呼吸速率(rate of respiration, *Rr*)及能量代谢速率(rate of metabolism, *Rm*),旨在明确聚集行为是否能够对始红蝽越冬时的能量代谢产生影响。结果表明:不同聚集度间始红蝽的 *Rm* 值存在显著性差异;并且随聚集度的增加,*Rm* 值与聚集度呈显著负相关,*Rm* 值依次为 0.052, 0.044, 0.041, 0.037 和 0.033 W/g。结果说明聚集行为可以有效降低始红蝽新陈代谢速率,有利于种群成功越冬。

关键词:始红蝽;越冬;聚集行为;能量代谢;呼吸速率

中图分类号:Q965　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:0454-6296(2007)12-1300-04

Effect of overwintering aggregation on energy metabolism in the firebug, *Pyrrhocoris apterus* (Heteroptera: Pyrrhocoridae)

SU Yan-Le[1,2], LU Zhao-Zhi[1,*], SONG Jing[1,3], MIAO Wei[1,3] (1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science, Urumqi 830011, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Aggregation is an ecological strategy for some animals adapting various adversities. *Pyrrhocoris apterus* will aggregate significantly during overwintering by adult diapause. In order to make out whether the aggregation affects rates of energy metabolism, we have directly measured the respiration of *P. apterus* with five different aggregation degrees using the LI-COR LI-6400, and calculated the rates of respiration (*Rr*) and the rates of energy metabolism (*Rm*). The five different aggregation degrees were shown by five different group sizes of the firebugs (1, 5, 10, 20 and 50 individuals). The results indicated that there were significant differences in the values of *Rm* among the five different aggregation levels. The values of *Rm* and the aggregation degrees had a negative correlation relationship. The values of *Rm* were 0.052, 0.044, 0.041, 0.037 and 0.033 W/g, respectively. The results suggested that aggregation of the firebugs can lower the metabolic rates, which may be advantageous for their overwintering successfully.

Key words: *Pyrrhocoris apterus*; overwintering; aggregation; energy metabolism; rates of respiration

聚集是动物界的一种常见现象,能够对群体中的许多动态过程产生影响(Parrish, 1999)。1972 – 2004 年间有文献报道的具有聚集行为的非社会性节肢动物达 124 个属(Wertheim *et al*., 2005),其中昆虫 115 属。聚集行为所产生的"群体效应(group effect)",如减少水分损失(Rasa, 1997; Yoder and Smith, 1997; Glass *et al*., 1998; Yoder and Knapp, 1999; Yoder *et al*., 2002)、降低能量代谢(Tojo *et al*., 2005)、提高取食效率(Clark and Faeth, 1997; Denno and Benrey, 1997)、增强繁殖力(Wells *et al*., 1990)、增强抵御天敌的效果(Cornell *et al*., 1987; Sillen-Tullberg and Leimar, 1988; Gagliardo and

基金项目:中国科学院"西部之光"人才培养计划"联合学者"(LHXZ200603)

作者简介:苏延乐,男,1982 年 2 月生,山东济宁人,硕士研究生,主要从事昆虫生态研究,E-mail:suyanle05@126.com

* 通讯作者 Author for correspondence, Tel.:0991-7885408;E-mail:zhaozhi@ms.xjb.ac.cn

收稿日期 Received:2007-01-08;接受日期 Accepted:2007-10-24

Guilford，1993；Gamberale and Tullberg，1998；Hatle and Salazar，2001）等效应对于个体很小、表面积/体积比很大的昆虫来说，具有极其重要的意义（Glass *et al*.，1998）。瓢虫和蝴蝶等以成虫越冬的昆虫在越冬期间会发生聚集行为，是昆虫抵御逆境、提高生存能力的一种生态对策（Richard and Lee，1980；Yoder and Smith，1997；Clark and Faeth，1997）。

始红蝽 *Pyrrhocoris apterus* 属半翅目红蝽科，古北种，主要分布在地中海沿岸、东亚和中亚地区（Honěk，1995）。成虫体长 8 ~ 12 mm，宽 4 ~ 5 mm，重 30 ~ 45 mg；身体大部分红色；头部、前胸背板前部中央、小盾片大部、前翅革区中央的圆斑、触角、足、身体腹面的斑纹黑色；膜区大部分黑色。寄主植物主要为锦葵科植物，取食种子，偶尔会袭击其他种类昆虫；以成虫滞育越冬（Hodek，1979）。始红蝽在若虫和成虫期均有聚集习性，成虫滞育越冬期间聚集行为尤为显著，一般几十到上百头聚集在寄主植物基部、墙缝或枯枝落叶下面。本实验以始红蝽不同聚集群体为研究对象，测定不同大小群体的呼吸速率，研究聚集行为对始红蝽能量代谢的影响。

1　材料与方法

1.1　虫源及处理

供试昆虫于 2006 年 9 月末在新疆乌鲁木齐市（N 43°51′，E 87°34′）采集，此时的日均温度为 15℃。将新采集到的昆虫置于 100 mL 三角瓶中保存在加拿大 Conviron 公司生产的 PGR15 型人工气候箱里，15℃下隔夜饥饿 12 h。

实验共设Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ和Ⅴ5 个聚集度，分别用 5 种不同的群体大小（1 头、5 头、10 头、20 头和 50 头）表示，每个聚集度各设 10 个重复。试虫选用个体大小较为一致的成虫，且不重复使用。

1.2　测定方法

测定呼吸所用仪器是美国 LI-COR 公司的 LI-6400 型光合仪及 05 叶室（Salvucci and Crafts-Brandner，2000）。测定前，称取待测群体的重量，然后将其转移到底面边长 50 mm，高 35 mm 的三棱柱状小网室中。测定时，设置仪器的工作参数为：样品室温度 15℃，样品室相对湿度 50%，空气流速 100 mL/min。仪器预热 0.5 h 后，将装有试虫的网室置于 05 叶室中。待仪器显示屏 $\triangle CO_2$ 栏的数值重新稳定后，设置仪器自动记录 3 h 数据，每间隔 2 s 记录 1 次数据。

在整个测定过程中，光合仪和叶室均置于加拿大 Conviron 公司的 PGR15 型人工气候箱中，气候箱温度设定为 15℃，相对湿度设定为 50%，无光照。

1.3　呼吸速率和能量代谢的计算

将 LI-6400 光合仪记录的数据传输到 PC，在统计软件 Origin7.5 中作呼吸释放 CO_2 的响应曲线，然后选择稳定的数据段 N（次）$= N_2 - N_1$，$N_1 = 1\ 000$，$N_2 \geqslant 3\ 700$，如图 1 所示。对相应曲线求积分得到所选时间段 T(s) $= 2N$ 内样品呼吸释放 CO_2 的总体积 V(μL)。

呼吸速率（rate of respiration，*Rr*）用单位时间内单位重量样虫释放 CO_2 的体积数（$\mu L \cdot g^{-1} \cdot s^{-1}$）表示。$Rr = V/TM$，式中 V 为样虫释放 CO_2 总体积

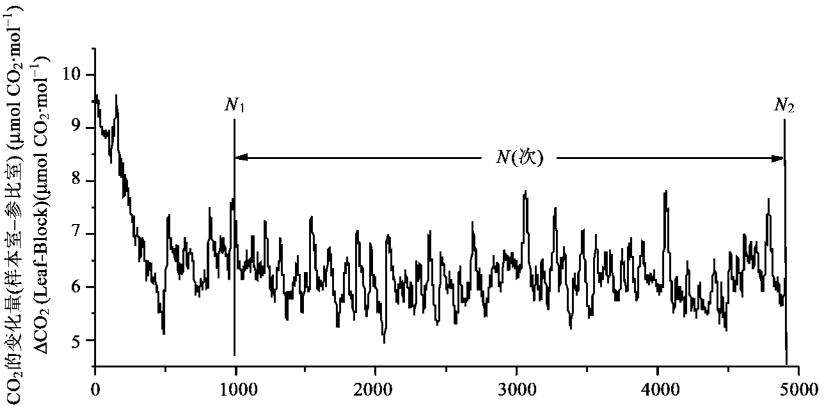

图 1　始红蝽（10 头）呼吸释放 CO_2 的响应曲线

Fig. 1　Curve of respiratory CO_2 release of *Pyrrhocoris apterus* (ten individuals)

(μL)，T 为时间(s)，M 为样虫初始重量(g)。

新陈代谢速率(rate of metabolism，Rm)用能量单位 W/g 计量，昆虫的能量消耗与呼吸释放 CO_2 的关系系数一般为 0.0245 J/μLCO_2(Schmidt-Nielsen，1980)，又由 1 W = 1 J/s，可得始红蝽新陈代谢速率的计算公式：$Rm = 0.0245V/TM = 0.0245Rr$。

1.4 数据分析

应用分析软件 STASTICA Version 7.0 对不同聚集群体的 Rm 值进行 Duncan 新复极差检验，分析不同聚集群体间能量代谢速率的差异显著性；同时进行不同聚集群体 Rm 值与聚集度之间的相关性分析。

2 结果与分析

不同聚集度间始红蝽的呼吸速率(Rr)和能量代谢速率(Rm)均存在显著性差异($F = 12.568$，$P < 0.01$)。聚集度Ⅱ和Ⅲ、Ⅲ和Ⅳ、Ⅳ和Ⅴ的 Rm 值间的差异无显著性，其他聚集度之间的差异都有显著性；Rr 值的分析结果同 Rm(表 1)。

表 1 始红蝽在不同聚集度下的呼吸速率及能量代谢速率的比较

Table 1 Comparison of rates of respiration and rates of metabolism of *Pyrrhocoris apterus* in different group size

聚集度 Aggregation degrees	群体大小 Group size	重复 Number of replicates	呼吸速率 Rr ($\mu L \cdot g^{-1} \cdot s^{-1}$)	能量代谢速率 Rm (W/g)
Ⅰ	1	10	2.103 ± 0.105 a	0.052 ± 0.002 a
Ⅱ	5	10	1.813 ± 0.068 b	0.044 ± 0.002 b
Ⅲ	10	10	1.656 ± 0.025 bc	0.041 ± 0.001 bc
Ⅳ	20	10	1.505 ± 0.126 cd	0.037 ± 0.003 cd
Ⅴ	50	10	1.344 ± 0.043 d	0.033 ± 0.001 d

表中数据为平均值 ± 标准误，同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(Duncan 新复极差检验，$P < 0.05$)。The data in the table are mean ± *SE*. The data in a column followed by different small letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

始红蝽的 Rm 值与聚集度之间呈显著负相关关系($r = -0.63$，$df = 49$)，即随聚集度的增加，始红蝽的能量代谢速率呈逐渐降低的趋势。Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ和Ⅴ聚集度的始红蝽的 Rm 值分别比聚集度Ⅰ即单头始红蝽的慢 13.8%，21.3%，28.4%和 36.1%。Rr 值的分析结果同 Rm。

3 讨论

3.1 聚集行为与能量代谢速率

本实验中始红蝽的呼吸速率和能量代谢速率随群体聚集度的增加明显降低，说明聚集行为会造成始红蝽呼吸量减少和生理活动减慢。这与 Tojy 等(2005)研究日本朱土蝽 *Parastrachia japonensis* 聚集现象时的结论相一致。Tojy 等(2005)认为主要原因是聚集个体之间相互的抚慰作用导致了聚集个体较单独个体的活动量减少，进而降低个体的呼吸及能量代谢速率。同时，聚集群体中特殊的微环境，例如低氧、高 CO_2 等对昆虫呼吸的抑制也可导致聚集群体能量代谢速率的降低。此外，聚集群体在保温、保水和防御等方面的特殊效应减少了个体的能量支出也是一个不可忽略的原因。

3.2 群体大小与能量代谢速率

Heard(1998)和 Costa 等(2007)提出群体大小对昆虫种群的生态过程有显著影响，本研究中不同大小群体的能量代谢速率存在显著差异也说明了这一点。但是，昆虫的能量代谢速率是否会随着群体的逐渐增大一直减慢？当群体达到很大规模时，昆虫会不会因为感到拥挤而活动量增加，进而导致能量代谢速率提高？是否存在能量代谢速率与群体大小的最适临界点？另外，环境温度对生物体的能量代谢影响显著(Clarke，2006)，那么不同温度下昆虫聚集的最适群体是多大？昆虫是如何在自然状态下调整其群体大小的？这些都是有待解决的问题，也是未来研究的重要方向。

3.3 聚集行为与群体微环境

昆虫对恶劣环境除了被动适应外，还有很多主动的对应策略，例如迁移、滞育、集群等。聚集行为能够减少群体中水分子的扩散，降低热量的散失，提高 CO_2 浓度等，这些对微环境的改变使得昆虫群体成为一种"超生物体(superorganism)"(Seal and Tschinkel，2007)。而本研究的结果证明了这种'超生物体'具有更强的抗逆能力。

3.4 聚集行为与昆虫越冬

聚集行为能够降低越冬昆虫的新陈代谢速率，减少能量消耗，提高存活率，对面临越冬期严酷环境的昆虫来说具有重要意义。研究昆虫的越冬聚集行为，找到个体间通讯的物质基础和响应机制，确定种群发生聚集现象的时间、地点、规模及其与各种环境因子的关系，监测集群昆虫的形态、行为及生理等，

能够为昆虫生物多样性保护、农林病虫害防治等提供理论基础和技术支持。

另外，从分子生物学的角度比较具有聚集行为的昆虫与无聚集行为的近缘种之间的遗传差异，有助于揭示昆虫聚集行为形成的进化机制。

参 考 文 献（References）

Clark BR，Faeth SH，1997. The consequences of larval aggregation in the butterfly *Chlosyne lacinia*. *Ecological Entomology*，22：408－415.

Clarke A，2006. Temperature and the metabolic theory of ecology. *Functional Ecology*，20(2)：405－412.

Cornell JC，Stamp NE，Bowers MD，1987. Developmental change in aggregation，defense，and escape behavior of buckmoth caterpillars，*Hemileuca lucina*（Saturniidae）. *Behavioral Ecology and Sociobiology*，20：383－388.

Costa JF，Cosio W，Gianoli E，2007. Group size in a gregarious tortoise beetle：patterns of oviposition *vs*. larval behaviour. *Entomol. Exp. Appl.*，125(2)：165－169.

Denno R，Benrey B，1997. Aggregation facilitates larval growth in the neotropical nymphalid butterfly *Chlosyne janais*. *Ecological Entomology*，22：133－141.

Gagliardo A，Guilford T，1993. Why do warning-colored prey live gregariously？*Proceedings of the Royal Society of London，Series B，Biological Sciences*，251：69－74.

Gamberale G，Tullberg BS，1998. Aposematism and gregariousness：the combined effect of group size and coloration on signal repellence. *Proceedings of the Royal Society of London，Series B，Biological Sciences*，265：889－894.

Glass E，Yoder J，Needham G，1998. Clustering reduces water loss by adult American house dust mites，*Dermatophagoides farinae*（Acari：Pryoglyphidae）. *Experimental and Applied Acarology*，22：31－37.

Hatle JD，Salazar BA，2001. Aposematic coloration of gregarious insects can delay predation by an ambush predator. *Environmental Ecology*，30：51－54.

Heard SB，1998. Resource patch density and larval aggregation in mushroom-breeding flies. *Oikos*，81(1)：187－195.

Hodek I，1979. Termination of adult diapause in *Pyrrhocoris apterus*（Heteroptera：Pyrrhocoridae）in the field. *Entomol. Exp. Appl.*，14：212－222.

Honěk A，1995. Factors and consequences of a non-functional alary polymorphism in *Pyrrhocoris apterus*（Heteroptera：Pyrrhocoridae）. *Res. Popul. Ecol.*，37(1)：111－118.

Parrish JK，1999. Complexity，pattern，and evolutionary trade-offs in animal aggregation. *Science*，284(5 411)：99－101.

Rasa OA，1997. Aggregation in a desert tenebrionid beetle：a cost/benefit analysis. *Ethology*，103：466－487.

Richard E，Lee J，1980. Aggregation of lady beetles on the shores of lakes（Coleoptera：Coccinellidae）. *American Midland Naturalist*，104(2)：295－304.

Salvucci ME，Crafts-Brandner SJ，2000. Effects of temperature and dietary sucrose concentration on respiration in the silverleaf whitefly，*Bemisia argentifolii*. *Journal of Insect Physiology*，46：1 461－1 467.

Schmidt-Nielsen K，1980. Animal Physiology：Adaptation and Environment. 2nd ed. Cambridge University Press. Cambridge.

Seal JN，Tschinkel WR，2007. Co-evolution and the superorganism：switching cultivars does not alter the performance of fungus-gardening ant colonies. *Functional Ecology*，21(5)：988－997.

Sillen-Tullberg B，Leimar OT，1988. The evolution of gregariousness in distasteful insects as a defense against predators. *The American Naturalist*，132：723－734.

Tojo S，Nagase Y，Filippi L，2005. Reduction of respiration rates by forming aggregations in diapausing adults of the shield bug，*Parastrachia japonensis*. *J. Insect Physiol.*，51：1 075－1 082.

Wells H，Wells P，Cook P，1990. The importance of overwinter aggregation for reproductive success monarch butterflies（*Danaus plexippus*）. *Journal of Theoretical Biology*，147：115－131.

Wertheim B，Baalen EA，Dicke M，Vet LEM，2005. Pheromone-mediated aggregation in nonsocial arthropods：an evolutionary ecological perspective. *Annu. Rev. Entomol.*，50：321－346.

Yoder JA，Smith BE，1997. Enhanced water conservation in clusters of convergent lady beetles，*Hippodamia convergens*. *Entomol. Exp. Appl.*，85：87－89.

Yoder JA，Knapp DC，1999. Cluster-promoted water conservation by larvae of the American dog tick，*Dermacentor variabilis*（Acari：Ixodidae）. *International Journal of Acarology*，25：55－57.

Yoder JA，Hobbs HH，Hazelton MC，2002. Aggregate protection against dehydration in adult females of the cave cricket，*Hadenoecus cumberlandicus*（Orthoptera，Rhaphidophoridae）. *Journal of Cave and Karst Studies*，64(2)：140－144.

（责任编辑：黄玲巧）